



**Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de variables agroclimáticas (temperatura, humedad, brillo solar) y control remoto de riego con modulo esp8266 en cultivos cítricos en la región caribe**

**Jorge Antonio Alvarado Vanegas**

**20441515938**

**Milton Cesar Quintana Canedo**

**20441013510**

**Universidad Antonio Nariño**

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2022

**Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de variables agroclimáticas  
(temperatura, humedad, brillo solar) y control remoto de riego con modulo esp8266  
en cultivos cítricos en la región caribe**

**Jorge Antonio Alvarado Vanegas  
Milton Cesar Quintana Canedo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electrónico**

Director (a):

Ing. Bashir Yacub Bermúdez

Línea de Investigación:

Instrumentación Electrónica

**Universidad Antonio Nariño**

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_,  
Cumple con los requisitos para optar  
Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Firma del Tutor

\_\_\_\_\_  
Firma Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma Jurado

Cartagena, mayo de 2022.

## Contenido

	Pág.
<b>Preliminares</b> .....	<b>XV</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>12</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>16</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>17</b>
<b>Marco Teorico</b> .....	<b>19</b>
1.1 Estaciones de Riego .....	20
1.1.1 Clasificación de las estaciones Meteorológicas .....	20
1.1.2 Riego inteligente .....	20
1.1.3 Porcentaje de agua en cítricos .....	21
1.1.4 Sensores de las estaciones de riego .....	22
1.1.5 Definición de sensores.....	22
1.1.6 Características de sensores.....	22
1.1.7 Clasificación de los sensores.....	22
1.1.8 Informes de datos de las estaciones agrometeorológicas (WEB y GMS) .....	24
1.1.9 Almacenamiento de datos.....	24
1.2 Sistemas embebidos .....	25
1.2.1 EEPROM .....	25
1.2.2 SoC .....	25
1.2.3 Microcontrolador.....	26
1.2.4 Comparativa de microcontroladores.....	27
1.3 Arquitectura del sistema IoT .....	28
1.4 Sistemas de Comunicación IoT .....	29
1.5 Servicios en la Nube para IoT .....	30

<b>Desarrollo del Prototipo .....</b>	<b>31</b>
2.1 Aspectos físicos.....	31
2.1.1 Requerimientos Físicos .....	31
2.1.2 Aspectos Eléctricos.....	31
2.1.3 Aspectos de Programación .....	31
2.2 Sensores .....	32
2.2.1 Sensor de temperatura y humedad .....	32
2.2.2 Higrómetro: Sensor Humedad Suelo Anticorrosivo YL100 .....	34
2.2.3 Sensor de temperatura en suelo .....	35
2.2.4 Sensor de Radiación Solar.....	36
2.3 Microcontrolador.....	38
2.3.1 Arduino® UNO R3.....	38
2.4 Datalogger Shield con RTC .....	39
2.5 ESP8266 .....	41
2.5.1 ESP-01s.....	41
2.6 Arquitectura del software .....	44
2.6.1 Descripción del programa .....	45
2.7 Construcción del prototipo.....	49
2.7.1 Diseño de contricción de los componentes electrónicos .....	49
2.7.2 Diseño de estructura física .....	50
2.7.3 Diseño de simulación.....	51
<b>Resultados .....</b>	<b>52</b>
3.1 Conexiones del circuito .....	52
3.2 Pruebas Funcionales .....	53
3.3 Pruebas de interfaz WEB.....	54
3.4 Información del datalogger .....	55
3.4.1 Gráfico de la temperatura.....	57
3.4.2 Gráfico de Humedad .....	58
3.4.3 Gráfico de radiación solar .....	59
3.5 Análisis de resultados .....	60
3.5.1 Análisis de los datos obtenidos de la temperatura .....	60
3.5.2 Análisis de los datos obtenidos de la Humedad .....	60
3.5.3 Análisis de los datos de radiación solar .....	61
3.5.4 Balance general de los resultados .....	61
<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>62</b>
4.1 Conclusiones .....	62
4.2 Recomendaciones.....	62
<b>Bibliografía .....</b>	<b>63</b>



## Lista de Figuras

Figura 1 Modulo de Sensor DHT11 .....	32
Figura 2 Sensor YL100.....	34
Figura 3 Sensor de temperatura DS18B20 .....	35
Figura 4 Modulo de foto resistivo .....	37
Figura 5 Tarjeta Arduino ONE Rev. 3 .....	38
Figura 6 Shield Datalogger con RTC .....	40
Figura 7 Modulo Esp-01s .....	42
Figura 8 Secuencia lógica del Software.....	44
Figura 9 Programación de Arduino .....	46
Figura 10 Programación Arduino - Continuación.....	47
Figura 11 Programación de Arduino - Continuación 2 .....	48
Figura 12 Esquemático de Construcción .....	49
Figura 13 Estructura física plástica .....	50
Figura 14 Simulación Realizada en Potreas.....	51
Figura 15 Conexiones de Arduino.....	52
Figura 16 Realización de Pruebas .....	53
Figura 17 Entorno Web de Blynk .....	54
Figura 18 Temperatura: Datos en ambiente y suelo .....	57
Figura 19 Humedad: Datos en ambiente y suelo .....	58
Figura 20 Valores obtenidos de la Fotorresistencia .....	59



## **Preliminares**

*(Dedicatoria)*

*Le dedico este trabajo a Dios por permitirme mantenerme junto a mi familia, por su constante apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, le dedico todo esto a mis padres que han sido pilar fundamental para seguir adelante en todos los momentos por más difíciles que hayan sido y superar las adversidades.*

***Jorge Antonio Alvarado Vanegas***

*Le doy gracias a Dios por darme la Fe, el camino y la fortaleza de seguir y avanzar en mis proyectos de vida, al igual a mi madre Adelis Canedo de los ríos, a mi padre Fredy Quintana de la rosa por apoyarme económicamente para poder cumplir este logro personal.*

***Milton Cesar Quintana Canedo***



## **Agradecimientos**

Mi completo agradecimiento a Dios por permitirme estar aquí, le doy gracias a mi familia por creer en mí, ayudarme a mejorar las falencias que tengo y ayudarme en generar nuevas oportunidades para mí en mi vida, por aconsejarme gratamente todos los días y tenerme presente siempre en todas sus oraciones cuando esto pasando por momentos difíciles.

Le doy gracias a la Universidad Antonio Nariño por darme experiencias gratificantes y satisfactorias en el desarrollo de mis conocimientos, interés por la investigación y desarrollo de nuevas propuestas e ideas aplicables desde el ámbito profesional como personal.

A todo el cuerpo docente de la ciudad de Cartagena que me brindaron un espacio de conocimiento y entera pasión por la ingeniería electrónica para incentivar en mi un constante desarrollos de mis capacidades en el área e investigación.

*Jorge Antonio Alvarado Vanegas*

Doy gracias a todas aquellas personas que colaboraron de una u otra forma en la realización de este proyecto. A la universidad Antonio Nariño, Docentes, compañeros, por las enseñanzas que en su tiempo me brindaron.

*Milton Cesar Quintana Canedo*

## Resumen

En este proyecto se realizó un diseño e implementación un sistema de riego en cultivos cítricos, para el monitoreo de variables agroclimáticas (temperatura, humedad y brillo solar) durante la época seca del año en la región caribe.

Este proyecto, tiene la capacidad de registrar, almacenar y transmitir datos mediante un módulo ARDUINO UNO con micro ATMEGA328P-PU, la cual permite conectar en una estación meteorológica, programada para captar datos mediante un datalogger y transmitir la información a través de una tarjeta wifi (ESP8266) a través de una red de comunicación Web.

Realizando con éxito la comunicación para el control remoto a través de una red de conexión a internet por la cual el usuario operario podrá realizar acciones de riego controlando por medio del esp-01s un relé de potencia para el encendido de una electroválvula.

**Palabras clave: Meteorología, Arduino, sensores, micro, Esp8622, Agricultura**

### **Abstract**

This project intends to design and implement an irrigation system for citrus crops, for the monitoring of agroclimatic variables (temperature, humidity and sunlight) during the dry season of the year in the Caribbean region.

This project has the capacity to record, store and transmit data through an ARDUINO UNO module with micro ATMEGA328P-PU, which allows connecting to a weather station, programmed to capture data through a datalogger and transmit the information through a Wi-Fi card (ESP8266) through a web communication network.

Successfully carrying out communication for remote control through an internet connection network through which the operator user will be able to carry out irrigation actions by controlling a power relay for the ignition of a solenoid valve through the esp-01s.

**Keywords: Meteorology, Arduino, sensors, micro, Esp8622, Agriculture**

## Introducción

Una de las principales actividades económicas de Colombia es la agricultura, aportando 14.89 billones de pesos al PIB según el DANE en el primer trimestre del 2021, contando además de 22 millones de hectáreas cultivables de las cuales solo son aprovechadas en la siembra 4.8 millones según un estudio realizado por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FOA). (DANE, 2019)

Una de las causantes de que la agricultura no sea un pilar aún mayor en la economía son el método clásico de cultivos, el cual está expuesto a las inclemencias climáticas cambiantes, desde lluvias torrenciales, temporadas prolongadas de sequías o de verano, estas dos anteriores también conocidas como fenómeno de la niña y fenómeno del niño respectivamente, causando así la reducción inminente en el rendimiento de los cultivos y productividad de las tierras.

En la actualidad Colombia cuenta en algunas regiones con la intervención tecnológica en el área de agricultura como la producción bananera y producción de caña entre otros, aunque, con pocos avances que no la hacen estar a la vanguardia de agricultura 4.0 o también llamada agricultura de precisión (AP) término que apareció en la década de los 80. Aplicando modelos predictivos, modelos de control y automatización con la recolección de data obtenida tras la intercesión de distintos sensores que logren percibir los cambios en las áreas de cultivo, esto lo podemos ver en el artículo publicado tras el

segundo congreso latinoamericano de ingeniería llamado: la agricultura 4.0 un camino a la continuidad de nuestro conocimiento y modelos de siembra.

Adicionalmente en el 2010 tras la realización del congreso de ciencias computacionales y tecnologías de la información se formuló un estudio y aplicación de la tecnología IoT en la agricultura, en la cual a través de sensores y nodos inalámbricos se hacia él envió de datos de manera remota de las variables adquiridas y utilizando una interfaz de R54B5 con la cual visualizar los datos obtenidos por radiofrecuencia GSM compatible con GPRS para el monitoreo de un invernadero. (Arango, C., Dorado, D., & Ruiz, 2010)

Este tipo de proyectos han sido implementados en diversos lugares alrededor del mundo, un ejemplo de ello sería malasia con Agricultura inteligente usando Internet de las cosas del año 2018 en el cual consiste en solucionar de manera inalámbrica y remota el monitoreo de las variables presente en un sistema de invernadero con el control de válvulas para plantas a nivel del suelo y aspersores aéreos para el riego de fertilizantes mezclado de manera autónoma por el sistema que a su vez es controlado por un panel de control en el invernadero de una empresa agrícola y monitorizada a distancia gracias a él Internet de las cosas.

Las grandes olas de calor son un factor crítico en la reducción de la producción de cítricos en la región caribe colombiana, llegando a tener picos históricos superiores a 40 grados Celsius. La temperatura óptima ronda los 23°C a 34°C y los niveles de pluviosidad

total anual debe rondar los 900 mm a 1200 mm para garantizar condiciones agroecológicas ideales en la producción de los frutos cítricos.

Estas condiciones climáticas no se ven cumplidas tras las prolongadas temporadas de verano, obligando al pequeño campesino a esperar, incluso hasta un nuevo año para retomar sus actividades agrícolas, trayendo consigo que el fruto resultante sufra de estrés hídrico por escasez del preciado líquido. (Segnana, 2019)

La tecnificación con nuevas tecnologías y sistemas de riego de este proceso agrícola en la producción de cítricos se muestra como un desafío interesante para las regiones que tienen climas soleados y de baja tasa de lluvia, en especial al pequeño productor o campesino que debe hacer frente a esta problemática y no cuenta con los recursos necesarios para la modernización de este proceso con equipos costosos y sofisticados que puedan medir todas estas variables agrometeorológicas, en agricultura de precisión o agricultura inteligente.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un sistema de control de riego remoto y monitoreo de variables agrometeorológicas para un cultivo de cítricos con transmisión de datos IoT

### **Objetivos específicos**

1. Identificar las variables agrometeorológicas características en los cultivos de cítricos.
2. Establecer los requerimientos funcionales y operativos para el sistema de control de riego y monitoreo remoto de las variables identificadas.
3. Diseñar el sistema de control de riego y monitoreo remoto a través IoT con y almacenamiento de datos en la nube.
4. Implementar el sistema de control de riego y monitoreo diseñado

### **Justificación**

Es necesario intervenir en la producción de alimentos a través de una agricultura más moderna que deje a un lado los elementos clásicos con menor productividad por hectárea de cítricos plantada, con medidas más tecnológicas disponibles a la mano. Es conveniente pensar cómo utilizar estas herramientas modernas en la producción agrícola trayendo consigo la monitorización de variables durante el proceso de crecimiento de los cítricos.

La finalidad de tener en cuenta todas estas variables utilizadas en la agricultura de precisión (AP) o Agricultura 4.0 son de evitar la baja del rendimiento de los cultivos y baja calidad de los frutos tras la cosecha, gracias a la implementación de un sistema de riego aplicadas a las hectáreas fértiles, destinado principalmente a cualquier cultivo que requiera un sistema de riego para contrarrestar las amplias temporadas de verano a través de un control variables ambientales en la región caribe colombiana para pequeños campesinos con que hacen parte producción agrícola nacional.

La necesidad principal es proveer la tecnificación asequible, un control más exacto en el riego necesarios para siembra de cítricos y evitar cuantiosas pérdidas tras la aparición de sequías recurrentes en la región caribe en especial tras el fenómeno del niño.

Este proyecto sería adecuado para proporcionar una herramienta más asequible a los pequeños campesinos, con la cual poder realizar jornadas de riego automáticas, según las condiciones agrometeorológicas presentes durante toda la etapa de producción de los cítricos.

## Metodología

Para la realización de este proyecto se tendrá en cuenta la siguiente estructura lógica:

Identificación de las variables agrometeorológicas características en los cultivos de cítricos: se realizarán consultas bibliográficas acerca de las variables agrometeorológicas tenidas en cuenta en los cultivos de cítricos. Se tendrán en cuenta los niveles recomendados de las diferentes variables de acuerdo a la temporada del cultivo (cosecha y postcosecha). Estos valores servirán para programar el riego de manera automática.

Establecimiento de los requerimientos funcionales y operativos para el sistema de control de riego y monitoreo remoto de las variables identificadas. En esta fase se determinan los requerimientos que deben cumplir los sensores para el monitoreo de las variables agrometeorológica, así mismo, los requerimientos para el sistema de control de riego, capacidad de procesamiento y número de puertos del microcontrolador, tiempo de muestreo de las variables monitoreadas, capacidad de almacenamiento de dato y medio de transmisión.

Diseño del sistema de control de riego y monitoreo remoto a través IoT con y almacenamiento de datos en la nube. En esta fase se realizará el diseño de los instrumentos de medida, el algoritmo de control de riego, el sistema de transmisión remota de datos y los web servers. También se seleccionarán todos los dispositivos y componentes eléctricos y electrónicos requeridos. Posteriormente, se realizará la simulación del sistema diseñado para validar su funcionamiento.

Implementación del sistema de control de riego y monitoreo diseñado. En esta fase se realizará la construcción de las tarjetas PCB, el ensamble de los componentes, las conexiones eléctricas requeridas y la interfaz gráfica de usuario (GIU). Finalmente, se realizarán pruebas de funcionamiento del sistema.

## Marco Teorico

La realización de diversos métodos de recolección de datos a lo largo del desarrollo de nuevas tecnologías ha traído consigo la actualización de centrales o estaciones que recopilen datos de interés de acuerdo a una actividad específica principalmente en las industrias, no obstante la nueva era de la agricultura tras la inclusión en las plantaciones más comunes han fortalecido el desarrollo de lo que hoy conocemos como con agricultura 4.0, que deja atrás los métodos tradicionales de adquisición de datos por medio de muestreos limitados y posiblemente afectados por la interacción humana al momento de tomar las muestras o no teniendo en cuenta la calibración de los elementos de medición y en casos muy comunes en la región campesina colombiana, basados en la perspicacia del agricultor o campesino en cuestión, todo esto queda relegado a programas de automatización de los procesos junto a sensores acordes a las condiciones climáticas por las cuales se pueden ver afectados estos cultivos durante su etapa de siembra, riego y cosecha, en especial los cítricos que disminuyen su rendimiento acorde a la cantidad líquido que se le es suministrado de manera manual durante su etapa de riego.

Las nuevas estaciones agrometeorológicas no solo se han quedado a disposición de la obtención de los datos, sino que también han implementado métodos de riego, como goteo o por aspersión entre los más comunes, teniendo en cuenta los datos obtenidos variar la frecuencia de riego además de la cantidad de agua suministrada siendo así aún más eficiente por que se tienen en cuenta variables como la humedad del suelo y la radiación solar presente al momento del mismo. (R. Kondaveti, 2019)

## 1.1 Estaciones de Riego

La estación de riego meteorológica se basa en un grupo de elementos (sensores, bombas, válvulas, aspersores, etc.) con capacidades de registrar, almacenar y transmitir datos de medición sobre las variables (temperatura, humedad, brillo solar), la cual permite de forma manual y automática una mejor respuesta para el proceso de producción agrícola que se esté ejecutando en el momento. (Marylin Mamani, 2017)

### 1.1.1 *Clasificación de las estaciones Meteorológicas*

De acuerdo a la OMM (Organización Meteorológica Mundial), afirma sobre los diferentes tipos de estaciones según su aplicación:

- Sinóptica (Climatológicas, agrícolas, especiales, aeronáuticas, satelitales).
- Según las observaciones (Principales, ordinarias, auxiliares o adicionales).
- Lugar de observación (Terrestre, aéreas, marítimas).

De acuerdo a la red meteorológica en Colombia descrita por el instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, estableció según su clasificación, redes de estaciones a lo largo del territorio, incluyendo variables pluviométricas, climatológicas, agro-meteorológica, sinóptica y aerológica con el objetivo de realizar muestreos atmosféricos para la recolección de datos nacional.

### 1.1.2 *Riego inteligente*

Para el aprovechamiento al máximo de una plantación con fines agrícolas tradicionalmente se implementaban técnicas de cultivo a través del conocimiento de las épocas de lluvias durante el año lo que limita consigo mismo la cantidad de veces al año

que se consideran posibles para realizar estas operaciones agrícolas, por otro lado la implementación de un riego inteligente lo que permite es realizar es un control sobre el riego de la planta, sino que adicionalmente permite monitorear cuando será necesario nuevamente realizar un riego de forma segura, que no supere las necesidades específicas de cada uno de los tipos de cultivos que se encuentran en la plantación, y con esto evitar consigo el estrés hídrico presente en largas temporadas de sequias o veranos que se puedan presentar en la región. Otro de los beneficios que acarrea la implementación de un sistema de riego inteligente es que permite reducir sustancialmente el desperdicio del agua y así dar un mejor aprovechamiento del preciado líquido, para ello es necesario conocer los valores óptimos para la plantación como en el caso presente de los cítricos que algunos trabajos hablan de 4 etapas por las cuales pasan los cítricos durante todo su cultivo, Empezando por: La etapa 1 donde se requieren 900 mm, la etapa 2 de 1000 mm, la etapa 3 de 1100 y finalmente la etapa 4 de 1200. (Segnana, 2019)

### ***1.1.3 Porcentaje de agua en cítricos***

Los cítricos tienen la gran particularidad que pueden sobrevivir en lugares donde exista una gran exposición de radiación solar con temperaturas elevadas ya esto en gran medida favorece el crecimiento del mismo, generando consigo una copa o cresta mas amplia para obtener un mayor porcentaje de horas de sol pero también requiere de condiciones hídricas ricas y constantes para mejor la calidad y condición del crecimiento, florecimiento y fructificación que se da a los alrededores de la copa, entre más expuesto al sol se encuentra más rápido y mayor será el crecimiento sus frutos, más sin embargo para

que estos frutos sean jugosos se requiere de unas condiciones hídricas idóneas que pueden oscilar entre 600mm y 1200mm. (Segnana, 2019)

#### **1.1.4      *Sensores de las estaciones de riego***

La aplicación de los instrumentos en una estación meteorológica de riego agrícola, los datos de transmisión, los parámetros requeridos, etc. Ayuda a identificar los diferentes tipos de sensores adecuados para la medición de las variables, en este proyecto se utilizará: Temperatura (Temperatura del Aire, temperatura del suelo), Humedad (Humedad del Aire, humedad del suelo), Brillo solar (Rayos solares).

#### **1.1.5      *Definición de sensores***

Un sensor es un elemento electrónico que permite captar una variable física (temperatura, distancia, humedad, rayos solares, presión) y convertirla en una variable o magnitud diferente como una señal eléctrica que puede ser analógica o digital.

#### **1.1.6      *Características de sensores***

La mayoría de las características de los sensores dependen de la variable a medir, cuentan con diferentes aspectos al momento de elegir como son la sensibilidad, exactitud, linealidad, precisión, histéresis, resolución, error entre otros.

#### **1.1.7      *Clasificación de los sensores***

Los sensores se pueden clasificar de acuerdo a su funcionamiento, al rango de salida, señales de salidas y las variables que pueden medir.

- Principio de funcionamiento de un sensor es de dos formas: Activo o Pasivo.
- Activo son aquellos que permiten transmitir o generar una variable física sin fuente de alimentación.
- Pasivo son aquellos que necesitan de una fuente de alimentación para generar una señal de medición.

- El rango de un sensor con respecto a su salida puede ser ON/OFF o de medidas.
- Según su señal de salida puede ser Análoga o Digital.
- Según las variables que puede medir están las eléctricas, mecánicas, magnéticas, térmicas, ultrasónicos, ópticos

- Sensores de temperatura

Son aquellos que permiten medir la temperatura del ambiente o la temperatura de un líquido o sólido. Se pueden clasificar según su funcionamiento en termistor, RTD, termopar. Termistor es un dispositivo electrónico que permite medir temperatura, se comporta como un resistor térmico que a cambios pequeños de temperatura se observa una variación en el valor de su resistencia.

RTD (detector resistivo de temperatura) Es un elemento que se utiliza para medir temperaturas a nivel industrial.

Termopar dispositivo medición de temperatura, permite suministrar una magnitud eléctrica que se relaciona con la temperatura, estos elementos no necesitan de una fuente para su funcionamiento.

- Sensor de humedad

Es un dispositivo electrónico sensible a las variaciones de humedad del aire presentes en el ambiente o área determinada que censan o leen estos cambios y traducen a voltajes entre un rango determinado según su principio físico de adquisición de datos de los mismos.

### **1.1.8      *Informes de datos de las estaciones agrometeorológicas (WEB y GMS)***

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías en las estaciones meteorológicas, se ha identificado diferentes maneras de transmitir la información de un lugar a otro remotamente, permitiendo una reducción en el presupuesto para la implementación de recursos en la agricultura.

La red digital GSM (Global System for Mobile) es una de las utilizadas en las estaciones meteorológicas, para comprimir, enviar datos y voz. En este proyecto se implementará la tecnología IOT (Internet de las cosas), que establecerá la conexión o el enlace de forma inalámbrica, con la estación meteorológica, mediante la programación de un código que se comunicará con la página WEB, almacenando los valores tomados de las variables agroclimáticas.

### **1.1.9      *Almacenamiento de datos***

Para las estaciones de monitoreo de variables agrometeorológicas es vital llevar un registro y evolución de los datos adquiridos en tiempo real con el fin de poder realizar estudios, ya sea intervenidos o no en su sistema de riego, esto con el fin de mejorar las técnicas de riego o evitar que las plantaciones sufran de estrés hídrico antes de la etapa de cosecha. Para esto se utiliza los datalog, que son la carga de datos masivos en tiempo real en almacenamientos confiables como respaldo para su futuro procesamiento, estos pueden ser físicos o a través de la nube en internet, la utilización de uno o de otro depende del coste de inversión e innovación de la estación, ya que los datos pueden ser leídos en tiempo real a través de un cable, pero solo serán almacenados por memorias reales o virtuales en la red. También son utilizados como una forma de parametrizar o caracterizar los datos obtenidos en un periodo de tiempo.

## 1.2 Sistemas embebidos

Se denomina un sistema embebido a la integración de un microcontrolador o microprocesador encapsulado o integrado, a una tarjeta de desarrollo para funciones determinadas en el procesamiento, lectura y escritura de datos, que le permitan interactuar con diversos dispositivos o señales adquiridas en tiempo real cumpliendo funciones específicas según lo requiera su fabricante. Sus componentes más comunes están:

- Puertos de Entrada
- Puertos de Salida
- Memoria interna RAM o ROM

### 1.2.1 *EEPROM*

La palabra EEPROM viene de la unión de palabras en inglés Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory que en español significa que es una memoria de exclusiva de lectura programable y borrrable de forma eléctrica. Esta es un tipo de memoria ROM que mantiene la información de la operación lógicas o algoritmo dentro de si por medio de semiconductores cargados eléctricamente.

### 1.2.2 *SoC*

Definido por la abreviación de palabras en inglés System on a chip, que en español significa Sistema integrado en un único circuito electrónico. La electrónica y el avance de los microcontroladores logra traer más elementos o modulos formados e integrados en una sola unidad o chip en cuestión, potencializando las capacidades una unidad de procesamiento funcional con modulos específicos para el desarrollo de tareas concisas.

### 1.2.3 *Microcontrolador*

Este es el encargado de realizar las operaciones lógicas o calculo fundamentales para la ejecución del programa tras ser energizado y coordina el correcto funcionamiento de los demás periféricos que están conectados entre sí, para la recepción y emisión de datos. El microcontrolador es la integración de un circuito integrado que actúa como unidad central de cómputo dentro de un sistema embebido completo. Entre sus principales características se encuentran:

- Procesador central simplificado
- Oscilador como señal de reloj
- RAM para almacenamiento de datos rápidos
- ROM o memoria flash para almacenar el programa
- Interfaces de entrada y salida (COMx)
- Puertos paralelos en un byte
- Otros dispositivos o periféricos

### 1.2.4 Comparativa de microcontroladores

Micro	Descripción	características	Ventajas	Desventajas
Arduino UNO R3	Es una plataforma de desarrollo electrónico de software y hardware libre para la interacción de comunidades de usuarios con desarrollos propios. Este proyecto de código abierto nació en el año 2003 cuando estudiantes del instituto de Diseño interactivo de Ivrea en Italia, con la finalidad de dar acceso y uso electrónico y de programación estructuraron a Arduino como una nueva placa de desarrollo más asequible y económica. Existen diversas revisiones y placas en el mercado como propias del equipo fabricante como genéricas que cumplen la misma función y agregan modificaciones a campos más específicos. Lenguaje de programación basado en C	14 pines de entrada y salida (6 Puertos PWM), 6 puertos analógicos, un oscilador integrado de 16MHz, conexión mediante USB tipo B para alimentación y programación, conector individual de alimentación DC a 7v a 12v, botón de Reset, Chip integrado ATmega328p, 1kb de EEPROM, Compatibilidad de comunicación (UART, I2C, SPI)	Posibilidad de expansión de sus características, integración de conexiones a la red móvil o internet, gran stock de shields o acoples según cada aplicación, fácil programación, propio compilador, actualizaciones de firmware, bajo costo y fácil acceso	Esta versión en específico no cuenta con conexión a internet o bluetooth
Raspberry Pi4B	Esta plataforma de desarrollo nació como la unión de un procesador robusto, pero en arquitectura ARM con la cual integrar más de un tipo de procesamiento, no solo lógico numérico para uso común de su CPU sino también la inclusión de un sistema de virtualización con interfaz gráfica a cargo de un GPU, no solo ejecuta líneas de código sino puede soportar enfoques de escritorio con adecuaciones de Linux o Debian como sistemas operativos. Cuenta con puertos de video y USB.	Broadcom BCM2711B0, de 4 núcleos, Cortex-A72, Reloj de 1,5GHz, 1 a 4 GB LPDDR4-3200, Wifi y Bluetooth 5.0. 40 pines GPIO, 2 micro HDMI, 4 Puertos USB, Jack de Audio, USB tipo C para alimentación.	Disponibilidad de contar con muchas conexiones no solo comunes para microcontroladores sino también para procesadores, compatibilidad con diversos sistemas operativos, dobles operación como ejecutado de rutinas o como escritorio.	Demasiado potente para operaciones muy sencillas, Posibilidad de averías por excesivas temperaturas de trabajo del procesador ARM
PIC18F455	La familia PIC recibe su nombre de las siglas en inglés (Programmable Integrated Circuit) Que significa que es un circuito integrado programable basado en el lenguaje de programación C con compiladores o quemadores como Mikro C. Originalmente fue desarrollado por el departamento de microelectrónica General Instrument con el fin de general un integrado mejorado con capacidades superiores a los preexistentes.	MCU cuenta con comunicación (UART, SPI, I2C, MSSP), 13 canales de 10bits ADC, 35 pines I/O, 2 comparadores analógicos, frecuencia máxima de trabajo 48Mhz.	Gran cantidad de puertos utilizables, adaptación de nuevos módulos según programación, base robusta, temperaturas de operación soportadas entre -40°C hasta 85°C	tareas más industriales, no fácil programación, fallo en conexiones con el quemador, necesita de un cristal oscilador para su funcionamiento

Fuente: Autor

### 1.3 Arquitectura del sistema IoT

La comunicación ha hecho parte de las necesidades básicas de la especie humana, generando a su vez lenguajes y formas de transmisión de datos, para la electrónica muchos de estos datos originalmente eran transmitidos por pulsos que requieren de un material sólido por el cual enviar y recibir la información deseada. Las nuevas tecnologías han traído consigo métodos de recepción de datos sin cables, generando consigo diversas soluciones para ello, las más interesadas al respecto son las empresas o industrias, aunque en principio tenían costos muy altos para la implementación de ellas.

El internet de las Cosas trae consigo la idea de interconectar todo elemento electrónico básico y darle características novedosas dejando a un lado el uso exclusivo de las industrias sino también para diferentes individuos, adicionalmente trayendo consigo opciones de monitorización de zonas rurales a bajo costo de fabricación, con bajo consumo energético y alto poder de transmisión de datos, por red local o conexión a internet.

La importancia de poder tener interconectados con elementos a internet no solo es recibir información del estado en tiempo real, sino también poder ejecutar acciones que antes requerirían de más personal, mejorando la automatización y ayudando a los operadores de cuadros de instrumentos a no arriesgar sus vidas realizando trabajos complejos como toma de datos a zonas expuestas o de difícil acceso.

Aplicaciones directas para viviendas han fortalecido el campo de domótica, permitiendo también a los usuarios administrar de mejor manera los recursos energéticos de la vivienda con ayuda de actuadores conectados a la red de internet.

#### 1.4 Sistemas de Comunicación IoT

Protocolo IoT	Descripción	Ventajas
WIFI	Es una tecnología de interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos bajos los estándares de IEEE802.11 que sientas las bases de la comunicación de altas velocidades.	Transmisión de datos pesados en tiempo real, interconexión mundial a la red.
Bluetooth	Es una tecnología de comunicación de bajo alcance, disponiendo consigo un consumo de operación y consumo más bajo en estado de reposo, su frecuencia es de 2.4Ghz	Bajo consumo, transmisión constante incluso con archivos grandes.
Z-Wave	Es un protocolo de comunicación principalmente utilizado para aplicaciones en la domótica a través de una conexión de onda de radio de baja energía.	Bajo consumo, ideal para trabajar de forma constante en viviendas y no generar sobre costos en las facturas.
Symphony	Symphony link es un estándar de red que usa la forma de estrella para lograr una mejor comunicación que el Z-wave. Principalmente utilizando para lograr fiabilidad de los datos en industrias.	Ideal para industrias, gran tasa de efectividad y confirmación de resección con validación de datos en configuración estrella
GSM	Las conexiones a través de redes móviles siguen siendo muy popular por su cobertura y tasas de velocidad entre ellas el 3G, 4G.	Transmisión rápida y bajo coste para tecnologías iguales o inferiores a 4G, compañías ya ofrecen servicios de red IoT en sus planes.
LoRa	Es un protocolo de comunicación para distancias masivas por la cual transmitir datos, tanto de redes regionales o nacionales a bajas velocidades entres 0.3kbps y 50kbps.	Transmisión de datos a bajo coste con grandes capacidades sin importar la distancia.

**Fuente: Autor**

### 1.5 Servicios en la Nube para IoT

Servicios de Nube	Descripción	Costes
Blynk IoT	Es una plataforma virtual para realizar la conexión de dispositivos o cosas al internet. Entre sus principales características esta: Registro de diferentes tipos de proyectos de uso común, individual o empresarial, soporte, análisis de datos y aprendizaje autónomo.	Ofrece un uso gratuito por cuenta para dar acceso a 30 widgets y 2 dispositivos en simultáneos con historial de datos por 1 semana, conexión de redes celulares.  Ofrece suscripciones de pago desde 5 a 499 dólares siendo esta última más enfocada para empresas con uso ilimitados de dispositivos.
Ubidots	Desarrollada para la interacción entre diferentes dispositivos a la nube, con diferentes tipos de protocolos como HTTP, MQTT, TCP, UDP o protocolos personalizados o industriales. Posibilidad de integración de API de otras compañías.	No ofrece un servicio de gratuito.  Precios desde 49 a 499 dólares, donde cambian la cantidad de dispositivos para ser conectados a la nube desde 25 hasta más de 1000 con la suscripción más costosa.
AWS	Es un servicio de Webs proveniente de Amazon, dejando a disposición de sus usuarios la utilización de una de las porciones de los servidores para diferentes aplicaciones, tales como: Análisis de datos, internet de las cosas, Machine Learning, robótica, almacenamiento, seguridad entre otros.	Ofrece 4 tipos de costes, uno gratuito por 12 meses, uno gratis indefinido pero limitado en funciones, pruebas enfocada para realizar testeos si es lo que realmente se necesita y de pago. El pago puede ser demanda o si es un uso masivo puede obtener descuentos.

Fuente: Propia

## **Desarrollo del Prototipo**

### **2.1 Aspectos físicos**

Se contemplaron diferentes aspectos para el diseño e implementación de una estación agrometeorológica útil aplicada al campo colombiano en especial para las plantaciones de cítricos en la costa caribe

#### **2.1.1 *Requerimientos Físicos***

- Debe de ser portable para llevar control de distintas áreas.
- Tiene que ser pequeña y ligera para que pueda ser puesta entre los mismos arboles de cualquier plantación.
- Sensores robustos que deben de soportar las inclemencias climáticas de la región caribe.
- Capacidad de contar con suministro energético a través de baterías internas.
- Soportar lluvia o humedad tras el riego.

#### **2.1.2 *Aspectos Eléctricos***

- Capacidad de recargar de forma muy conveniente sus baterías internas de larga duración.
- Utilización de componentes electrónicos de bajo consumo para el desarrollo de largas jornadas agrícolas.
- Poder controlar Bombas o electro válvulas vía remota gracias a la utilización de redes WIFI para los riegos de la plantación.
- Si de ser necesario poder Almacenar datos internamente para realizar estudios en tiempo real con una SD.

#### **2.1.3 *Aspectos de Programación***

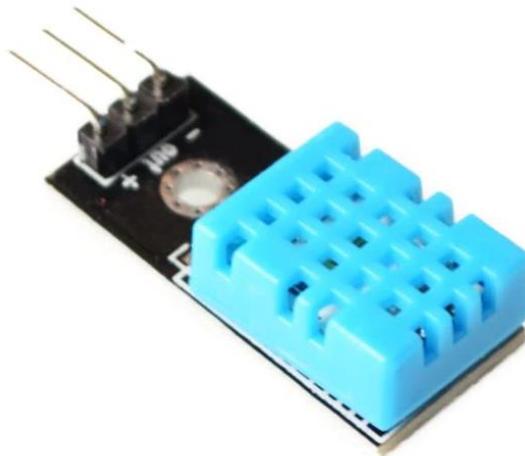
- Se utilizará como entorno de programación el software de código abierto IDE de Arduino 1.8.19 para poder cargar el sketch o código al Arduino ONE Rev. 3.
- El código efectuado debe de ser capaz de leer los datos obtenidos a través de cada uno de los sensores utilizados para la estación agrometeorológica
- Debe de almacenar los datos si es necesario en una SD anexados a el tiempo real en el que fueron captados los datos.
- Debe haber conexión entre el hardware conexión WIFI para operar la Bomba de agua o electrono válvula que active un relé en el sistema.

## 2.2 Sensores

Para la toma de decisión de que sensores utilizar se tuvo en cuenta las condiciones climáticas que están presentan en la región caribe, y su constante exposición a riegos o productos químicos utilizados durante el proceso de crecimiento de los cítricos en cuestión.

### 2.2.1 *Sensor de temperatura y humedad*

**Figura 1 Modulo de Sensor DHT11**



**Fuente:** <https://yrobotics.co/producto/sensor-humedad-temperatura-dht11-dht-11-con-pcb-arduino>

El sensor DHT11 Es un sensor con la capacidad de leer o tomar dos datos fundamentales para aplicación de estaciones agrometeorológicas modernas, entre ellas está la capacidad de obtener informacion de Humedad y Temperatura ambiente cada 2 segundos con un protocolo de comunicación de un solo cable, por el cual puede emitir o transmitir los datos obtenidos, a este protocolo se le conoce como Single-Wire Two-Way

que en español sería, un solo cable y doble vía, haciendo referencia a esta posibilidad de transmisión de datos gracias al estar conectado a un 8-Bit microcontrolador que se encarga de la interacción entre el sensor y el Arduino.

**Característica:**

- Reducido tamaño y bajo peso, ideal para aplicaciones IOT
- Trasmisión de datos a alta velocidad
- Bajo consumo energético entre 0.5mA a 2.5mA

**Especificaciones:**

- Vcc de: 3Volts o 5Volts
- Rango Operativo de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión temperatura de: 2 °C.
- Resolución: 0.1 °C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH

### 2.2.2 *Higrómetro: Sensor Humedad Suelo Anticorrosivo YL100*

**Figura 2 Sensor YL100**



**Fuente:** <https://yrobotics.co/producto/higrometro-sensor-humedad-suelo-anticorrosivo-yl100-arduino>

Este sensor cuenta con la particularidad de poseer un conversor o convertidor según las necesidades del sistema, entre ellas utilizarlo en modo Análogo y también de forma digital para la conexión y transmisión de sus datos, solamente cambiando la posición de conexión de sus puertos en su modulo, cuenta con un puerto A0 análogo y un puerto D0 haciendo referencia a que es un puerto digital, contando también con un módulo de amplificación LM393 para la señal.

Por el otro extremo de su modulo podemos ver una conexión positiva y negativa que bajan directamente a través de un cable del Higrómetro hacia sus terminales que van ancladas en la tierra, estas puede determinar un valor resistivo o aislante de la tierra que aumenta o disminuye en proporción de la cantidad de humedad que se encuentre en el

cultivo, ideal para aplicaciones en regiones donde el agua salubre o agua salada está presente debido a su niquelado anti corrosivo protege dichos terminales.

**Características:**

- Bajo peso y extenso cable para tomas de humedad en el Suelo.
- Rangos de Operación entre 0 y 1023 cuando no hay humedad conductora.
- Resistente sistema de terminales en material inoxidable.

**Especificaciones:**

- Vcc: 3.3Volts a 5Volts
- Dobles salida: Digital o Análoga
- Modulo amplificador LM393
- Modulo PCB con opción de Calibración

**2.2.3**      *Sensor de temperatura en suelo*

**Figura 3** Sensor de temperatura DS18B20



**Fuente:** <https://yorobotics.co/producto/sonda-sensor-digital-temperatura-ds18b20-impermeable-2-metro>

El sensor DS18B20 normalmente cuenta con forma de transistor, sin embargo, para este caso cuenta con un encapsulado metálico que permite la transferencia de temperatura de donde es colocado, a su vez que lo protege de diferentes condiciones climáticas y corrosión presente en la región caribe por los altos niveles de salitre en general. Este sensor cuenta con la particularidad de tener forma sonda lo que le permite tener mayor distancia de operación siempre y cuando sea conectado una resistencia Pull-up al mismo, entre las terminales vcc y de datos, para evitar los ruidos generados al tener una extensión muy larga de cable de este sensor, el cual puede ser conectado a través de liberáis en Arduino a los puertos Digitales.

**Características:**

- Impermeabilidad y resistencia a la corrosión
- Larga extensión
- Ideal para tomar temperatura en zonas complejas o enterrado
- Bajo consumo Energético

**Especificaciones:**

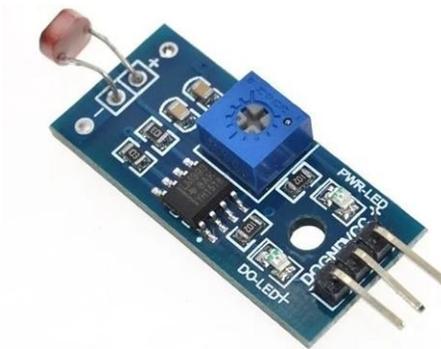
- Vcc: 3Volts a 5Volts
- Rango de Operación: -55°C a 125°C
- Rango de Precisión: 0.5°C entre -10°C a 85°C
- Ejecuta mediciones de 9 a 12 Bits

**2.2.4 *Sensor de Radiación Solar***

El sensor de radiación solar escogido para la estación agrometeorológica es el Módulo Foto resistivo que cuenta con un LDR dentro que permite realizar una variación de la tensión según la cantidad de radiación solar presente sobre el mismo, este cambio o

perturbación es rápidamente detectado por este sensor que interactúa como una resistencia graduable que a medida que la luz aumenta o disminuye a si mismo lo hace su medición tomando valores desde 0 hasta 1023.

**Figura 4 Modulo de foto resistivo**



**Fuente:** <https://www.mactronica.com.co/modulo-sensor-de-luz-fotorresistencia>

**Características:**

- Cuenta con la posibilidad de ajuste de sensibilidad o calibración
- Tiene consigo el módulo amplificador LM393
- Bajo peso y bajo consumo energético

**Especificaciones:**

- Vcc: 5volts
- Posibilidad de trabajar de forma Digital o Analógica
- Peso de 0.01kg
- Tiempo de respuesta de 30MS
- Resistencia Variable: 1M aprox.

## 2.3 Microcontrolador

Para el extenso grupo de tarjetas de desarrollo en programación que existen, principalmente para aquellas que son utilizadas para implementación de dispositivos o prototipados con bajo consumo; son los microcontroladores el gran aporte en el ámbito electrónico porque permite la realización de rutinas lógicas con gran variedad de equipos desarrollados tales como los sensores o shield que amplifican su capacidad y conexión a la red, por esta razón se tomó a:

### 2.3.1 *Arduino® UNO R3*

Este componente realizara las rutinas programadas para el desarrollo de obtención de datos de los sensores agrometeorológicos y el control de manera remota de una bomba de agua o electro válvula como sistema de riego.

**Figura 5 Tarjeta Arduino ONE Rev. 3**



Fuente: <https://docs.arduino.cc/static/86d571fe7059fb2c2d83c32e441a8353/A000066-datasheet.pdf>

El lenguaje de programación que interactúa los sketches en el IDE de Arduino es un lenguaje de programación basado en C con la posibilidad de librerías aportadas por la misma comunidad gracias a ser una plataforma de desarrollo de Open Source o Código Abierto en español. (ARDUINO, 2022)

### **Especificaciones Técnicas:**

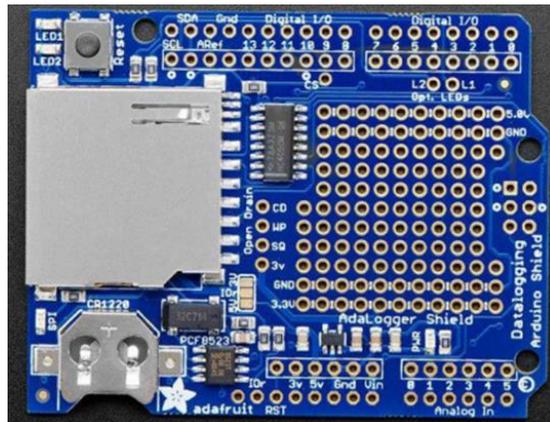
- Poder: 2.7-5.5 Volts
- Memoria: 32KB ISP Flash, 2KB EEPROM, 1KB SRAM
- Reloj: AVR CPU hasta de 16MHz
- Puertos Periféricos:
- temporizadores/contadores de 8 bits con un registro de período dedicado y canales de comparación
- 1 temporizador/contador de 16 bits con un registro de período dedicado, captura de entrada y canales de comparación
- 1x USART con generador de velocidad de transmisión fraccionaria y detección de inicio de trama
- 1 controlador/periférico Interfaz de periféricos en serie (SPI)
- 1 controlador de modo dual/periférico I2C
- 1x comparador analógico (AC) con una entrada de referencia escalable
- Temporizador de vigilancia con oscilador en chip separado
- Seis canales PWM
- Interrumpir y despertar en el cambio de pin

## **2.4 Datalogger Shield con RTC**

Este Shield o Escudo está diseñado para arquitecturas o módulos de desarrollo con la capacidad de transmisión de datos por el puerto serial, siendo el caso de RX y TX acompañados de los puertos SCL y SDA como es el caso del Arduino integra. adicionalmente este Shield integra un módulo de RTC Real Time Clock o reloj de tiempo

real en español conocido como DS1307 idéntico al utilizado en las tarjetas madres de los computadores de sobre mesa.

**Figura 6 Shield Datalogger con RTC**



**Fuente:** <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-data-logger-shield.pdf>

Pudiendo así con la integración de estos dos módulos mas una ranura de expansión SD Card para almacenar los datos obtenidos en tiempo real y escritos a través de los puertos seriales según sea el caso o protocolo de comunicación, además de dar gran facilidad de integrar proyectos sobre el mismo ya que no resta los puertos de comunicación de entrada y de salida del Arduino en esta caso, sino que también los duplica dejando en medio ranuras perforadas a la cual se le pueden soldar más sensores para la realización de proyectos es decir que su capacidad de expansión es superior.

En caso tal de que el Arduino quede sin suministro energético este Datalogger shield cuenta con una batería de reloj removible de 12mm en forma de moneda de iones de litio.

#### **Características:**

- Capacidad de Expansión
- Integración de dos Módulos en Uno
- Área de Trabajo Optimizada
- Reloj con batería interna

#### **Especificaciones:**

- Capacidad de memorias SD con formatos FAT32 o FAT16
- Tamaño Compacto
- Voltaje de Operación de 3.3Volts
- Potente sistema de transferencia de Datos

## **2.5 ESP8266**

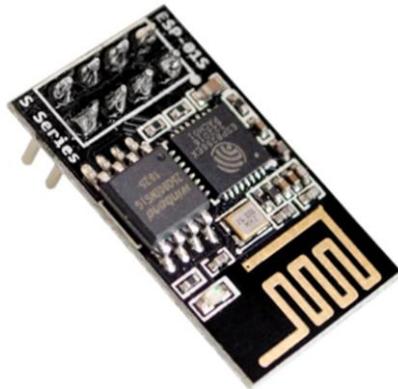
Es un chip de bajo costo de fabricación que permite el control de redes inalámbricas bajo el protocolo estándar del instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE) 802.11 que regula la familia de normas para las redes locales o de áreas metropolitanas.

### **2.5.1 ESP-01s**

El módulo ESP8266 ha entrado a al movimiento y aplicación de IOT Internet of Things o El Internet de las cosas, lo cual significa poder acceder a cualquier dispositivo a través de internet y de forma remota con una comunicación segura bidireccional entre

hombre y máquina. Este módulo por sí solo ya es un SoC o System on a Chip o un Sistema completo dentro de un solo chip que actúa como procesador y realiza las autenticaciones de red y demás, aunque por sí mismo tiene la potencia suficiente para ejecutar tareas solo tras ser programado. Su versión más pequeña se ve a continuación:

**Figura 7 Modulo Esp-01s**



**Fuente:** <https://yrobotics.co/producto/esp8266-01s-wifi-arduino-wifi-versin-actualizada-arduino>

Su bajo consumo de potencia muy inferior a la gran mayoría de procesadores del mercado y a un bajo coste lo hace muy atractivo para la aplicación de sistemas IOT. En esta versión del ESP8266, denominada ESP-01s que es una versión revisada y más pequeña del mismo, desarrollada con el fin de poder dar conexión de internet a otros dispositivos que nativamente no cuenta con ello, con una antena integrada.

**Características:**

- Consumo de Bajo y modos de Stand By o modos de espera

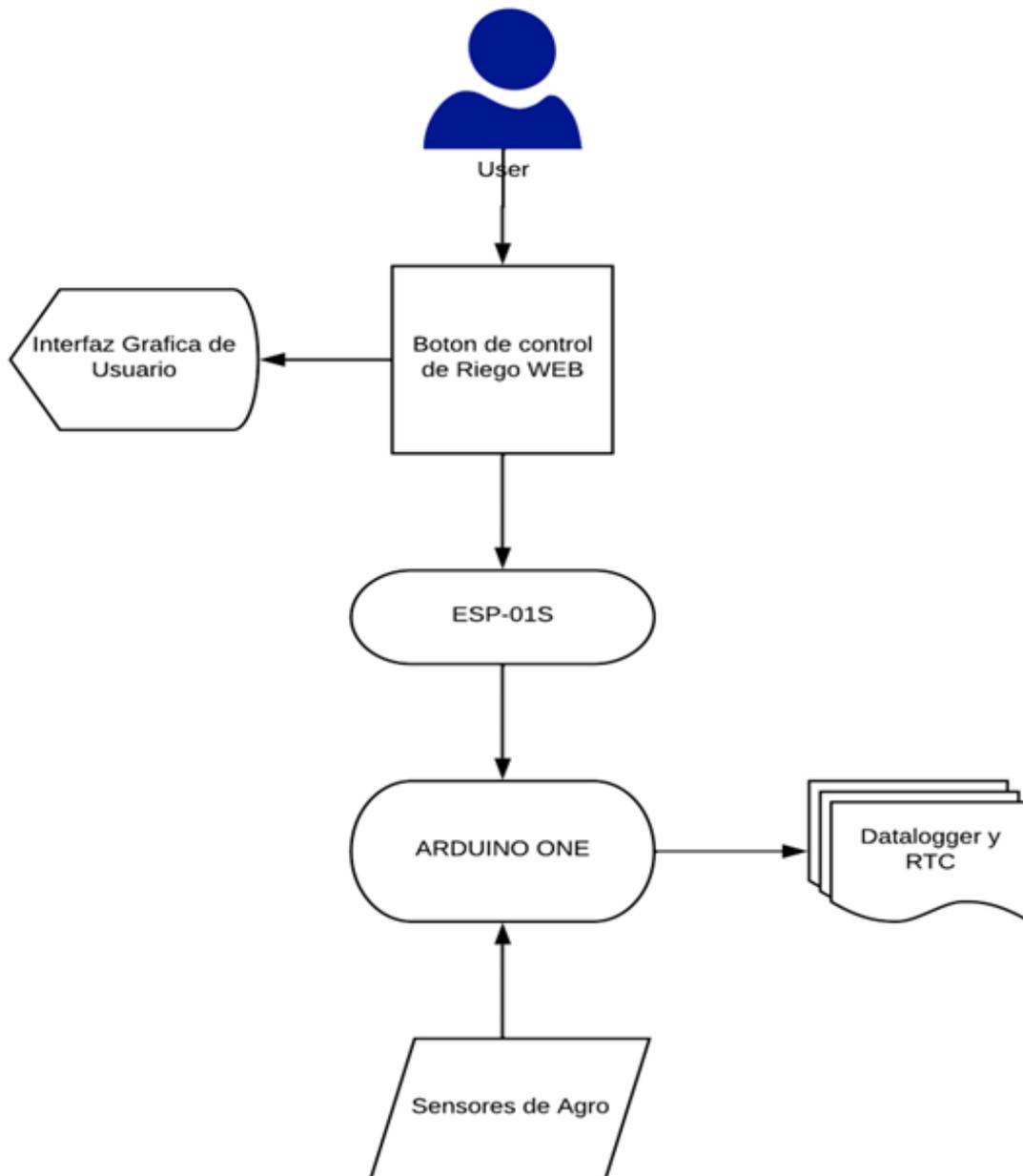
- Capacidad propia de ejecutar rutinas
- Aplicativos de modernización con internet a antiguos sistemas
- Bajos coste de fabricación y alta Potencia
- Conexiones seriales TX y RX

**Especificaciones:**

- Estándar de comunicación IEEE 802.11b/g/n
- Compatibilidad con Wi-Fi (P2P)
- Potencia de Salida de +19.5dBm (decibelio-mili vatio)
- Métodos de conexión en UART y SPI
- Latencia de 2ms.
- 4MB de Memoria Flash

## 2.6 Arquitectura del software

Figura 8 Secuencia lógica del Software



Fuente: Autor

Para programar el microcontrolador Arduino One y pueda controlar en conjunto los diferentes periféricos enlazados entre sí, se debe seguir la estructura de sketch basado en el lenguaje de programación C como se muestra en el siguiente orden lógico:

- Inclusión de librerías según cada componente
- Definir las Variables globales o constantes que se utilizaran dentro de la programación sean propias o necesarias en algunas librerías.
- Prosigue el Void Setup, que consta en la ejecución de código de una sola ejecución, previa a la rutina del programa, también inicializa los elementos del sistema.
- Void Loop, en este apartado se debe de colocar la rutina lógica que debe seguir el micro controlador para llevar a cabo toda su operación.
- Codificación de Funciones propias como sub rutinas añadidas a la rutina principal que ejecuta el código.

### **2.6.1 Descripción del programa**

Todos estos elementos en conjunto dan inicio, sientan bases, y ejecutan las ordenes lógicas que son copiladas tras el desarrollo del mismo, de esta manera el Arduino almacena dentro de si todas las operaciones en lenguaje máquina para ser ejecutadas tras ser energizada. En este caso este código tiene la capacidad de mostrar los datos al Usuario obtenidos de los sensores de temperatura ambiente y de suelo, los datos obtenidos de los sensores de Humedad ambiente y suelo, radiación solar en el monitor Serial de IDE de Arduino y adicionalmente almacena los datos en la SD a través del datalogger con el tiempo exacto con que fue realizada la muestra de datos en un archivo denominado Datalog.txt e interacción con el ESP-01s para comunicación remota y aplicación del IOT.

Figura 9 Programación de Arduino

```

2 #define BLINK_TEMPLATE_ID          "TmplmIDqKYkd"
3 #define BLYNK_DEVICE_NAME          "IOT ESTACION AGRO DE RIEGO"
4 #define BLYNK_AUTH_TOKEN           "mosRmhAGta-kuSEU7VrJ06zJXwzSSJ7K"
5 #define BLYNK_PRINT Serial
6 #define ESP8266_BAUD 38400
7
8 // Se incluyen las librerias a Utilizar
9 #include <DHT.h>
10 #include <DHT_U.h>
11 #include <SD.h>
12 #include <SPI.h>
13 #include <RTClib.h>
14 #include <OneWire.h>
15 #include <DallasTemperature.h>
16
17 // Se incluyen las librerias del Servidor
18 #include <ESP8266_Lib.h>
19 #include <BlynkSimpleShieldEsp8266.h>
20 #include <SoftwareSerial.h>
21
22 //Se definen las variables del Servidor
23 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
24 char ssid[] = "FAMILIA ALVARADO";
25 char pass[] = "familiaalvarado2020";
26
27 //Se definen Puertos del Servidor Para comunicacion
28 SoftwareSerial EspSerial(2, 3); // RX, TX
29 ESP8266 wifi(&EspSerial);
30
31 // Se definen las Variables
32 int DHTPIN = 7; //int esteros y float flotantes o con decimales (no son exactos)
33 int DHTYPE = DHT11; // DHT11 y DHT22
34 DHT dht(DHTPIN, DHTYPE); //Los datos van a ingresar por el pin 7 y vienen del sensor DHT11
35
36 // Sensor DS18B20
37 const int pinDatosDQ = 6;
38
39 //Shield de Reloj y SD

```

Fuente: Capturas de pantalla por el autor

### Figura 10 Programación Arduino - Continuación

```

39 //Shield de Reloj y SD
40 const int chipSelect = 10;
41 RTC_DS1307 rtc;
42
43 // Instancias de Onewire y DallasTemperature
44 OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
45 DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
46
47 //Sensor LDR
48 int SensorPin1 = A1;
49
50 //Sensor de Humedad Suelo Y100
51 int SensorPin0 = A0;
52
53 // Setiamos para dar inicializacion
54 void setup() {
55     Serial.begin(115200);
56     EspSerial.begin(ESP8266_BAUD);
57     delay(10);
58
59     Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass, "blynk.cloud", 80);
60
61     Serial.begin(9600); // Monitor Serie
62     if (!rtc.begin()){ // Iniciamos el Reloj
63         Serial.println("No se pudo encontrar RTC");
64         while(1);
65     }
66
67     if (!rtc.isrunning()){
68         Serial.println("RTC perdió energía, ;configuremos la hora!");
69         rtc.adjust(DateTime(F ( __DATE__ ), F ( __TIME__ ))); // Captamos la Hora Y la Fecha desde el PC
70     }
71
72 //Inicio de SD
73 if (!SD.begin(chipSelect)) {
74     Serial.println(";Inicialización SD falló!");
75     while (1);
76 }
77
78 dht.begin();
79 sensorDS18B20.begin();
80 }
81
82 // Programamos una Rutina
83 void loop() {
84     Blynk.run();
85     DateTime now = rtc.now(); // LLamamos la Fecha y Hora Actuales
86     String dataString = "";
87
88 //Variables del Programa
89 float h = dht.readHumidity(); //Humedad Ambiente
90 float t = dht.readTemperature(); //Temperatura Ambiente
91 int LDR = analogRead(SensorPin1); //Sensor LDR
92 sensorDS18B20.requestTemperatures(); //Temperatura Suelo
93 int Y100 = analogRead(SensorPin0); //Humedad Suelo
94
95
96 // Se Empieza a escribir La FECHA y HORA

```

Fuente: Capturas de pantalla por el autor

**Figura 11 Programación de Arduino - Continuación 2**

```

96 // Se Empieza a escribir La FECHA y HORA
97 dataString += String(now.year(), DEC);
98 dataString += String('/');
99 dataString += String(now.month(), DEC);
100 dataString += String('/');
101 dataString += String(now.day(), DEC);
102 dataString += String(',');
103 dataString += String(now.hour(), DEC);
104 dataString += String(':');
105 dataString += String(now.minute(), DEC);
106 dataString += String(':');
107 dataString += String(now.second(), DEC);
108 dataString += String();
109 dataString += ",";
110 // Se empieza escribir Datos Obtenidos
111 dataString += String(t);
112 dataString += ",";
113 dataString += String(h);
114 dataString += ",";
115 dataString += String(LDR);
116 dataString += ",";
117 sensorDS18B20.requestTemperatures();
118 dataString += String(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
119 dataString += ",";
120 dataString += String(Y100);
121
122 File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); //Se inicia y se escribe dentro
123
124 if (dataFile){
125     dataFile.println(dataString);
126     dataFile.close();
127     Serial.println(dataString);
128
129 }else{
130     Serial.println("error al abrir datalog.txt");
131 }
132 delay(2000);
133 }

```

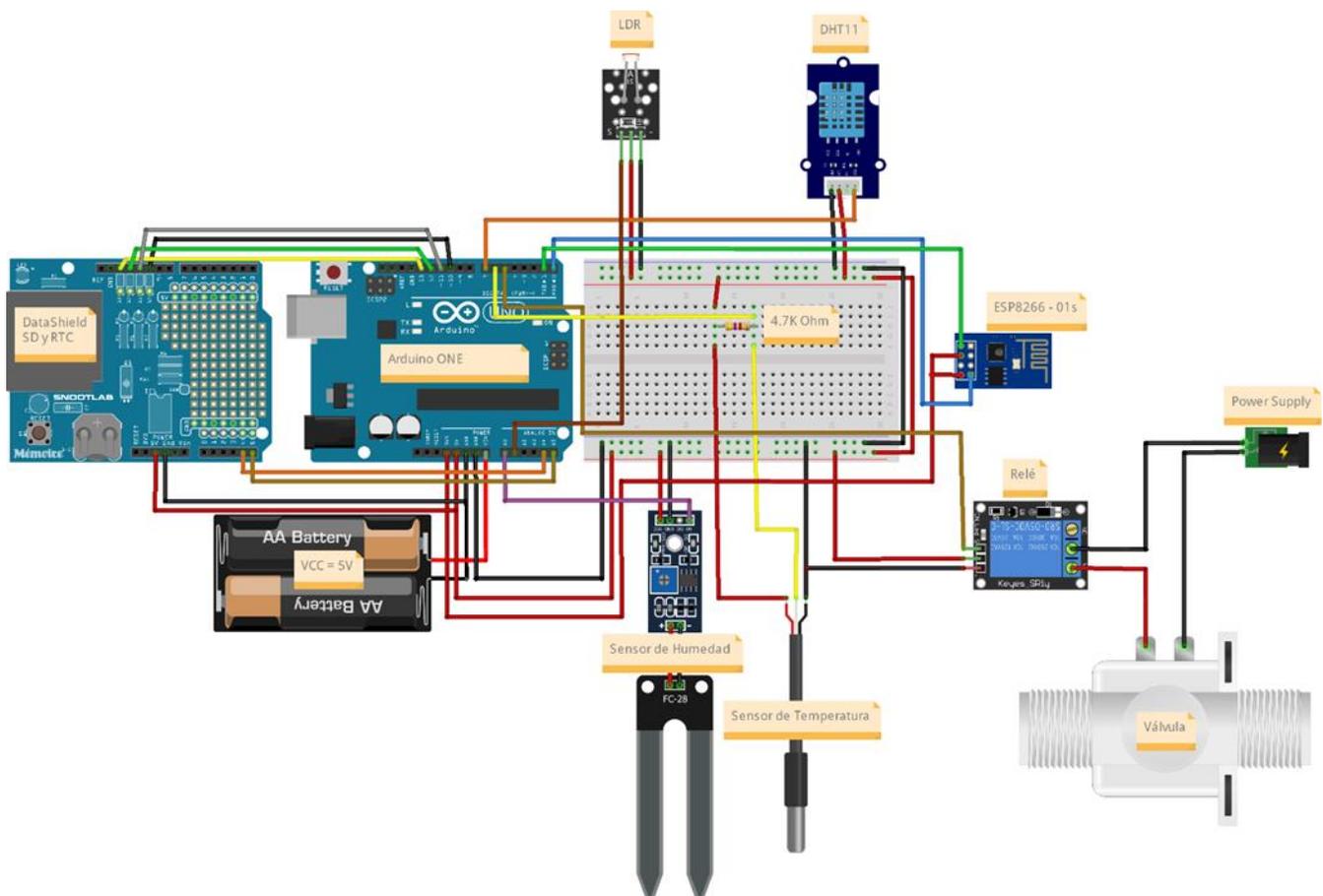
**Fuente: Capturas realizadas por el Autor**

## 2.7 Construcción del prototipo

### 2.7.1 *Diseño de construcción de los componentes electrónicos*

Esquema de Diseño de construcción de una estación agrometeorológica capaz de recolectar datos de los distintos sensores utilizando también consigo la aplicación de internet de las cosas como medio de control a distancia por el usuario. A continuación, se ve la disposición de los componentes así:

**Figura 12 Esquemático de Construcción**



**Fuente: Elaborado por el Autor**

### 2.7.2 *Diseño de estructura física*

Para el Diseño de esta estructura física se tuvieron en cuenta que fuera de un material no conductor, que tuviera la capacidad de aguantar temperaturas inclementes presentes en la región caribe de Colombia que suelen ser superiores a los 31°C, utilización de materiales ligeros que permitan reducir el peso al máximo del mismo, la estructura de plástico obtenida entre las ofertadas en el mercado con dimensiones 15 cm x 15 cm x 12cm, rebordeado en su tapa con una muesca que genera un sello hermético y una manija para su fácil transporte o colocación en cualquier árbol de frutos cítricos, como se muestra a continuación:

**Figura 13 Estructura física plástica**

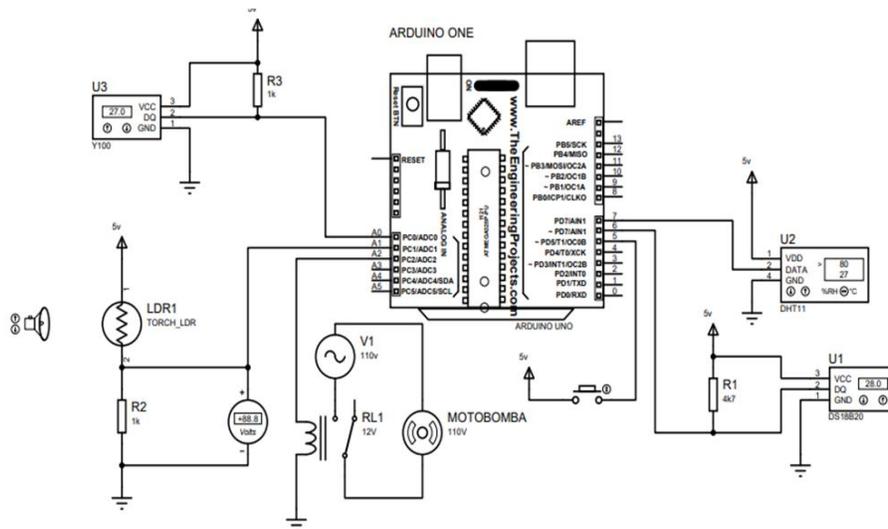


**Fuente: Fotografía por el autor**

### 2.7.3 Diseño de simulación

Para el desarrollo de pruebas previas al montaje se comprobó el código y funcionamiento del mismo a través del software de Proteus, en el cual se pudieron gestionar la disposición de cables y puerto por los cuales se realizaría la comunicación del sensor de humedad y temperatura ambiente DHT11, el sensor de Humedad suelo YL100, el sensor de temperatura suelo DS18B20, el sensor foto resistivo para la radiación solar LDR y simulación de un relé de control de la Bomba o electroválvula para el uso local, por desgracia el simulador no cuenta con la opción de un control o simulación de conexión remota atreves de internet para realizar esquemas con el ESP-01S por eso no se ven representados en el esquema obtenido en Proteus 8 tras utilizar las Opcion de Impresión del esquema que se ve a continuación:

**Figura 14 Simulación Realizada en Potreus 8**



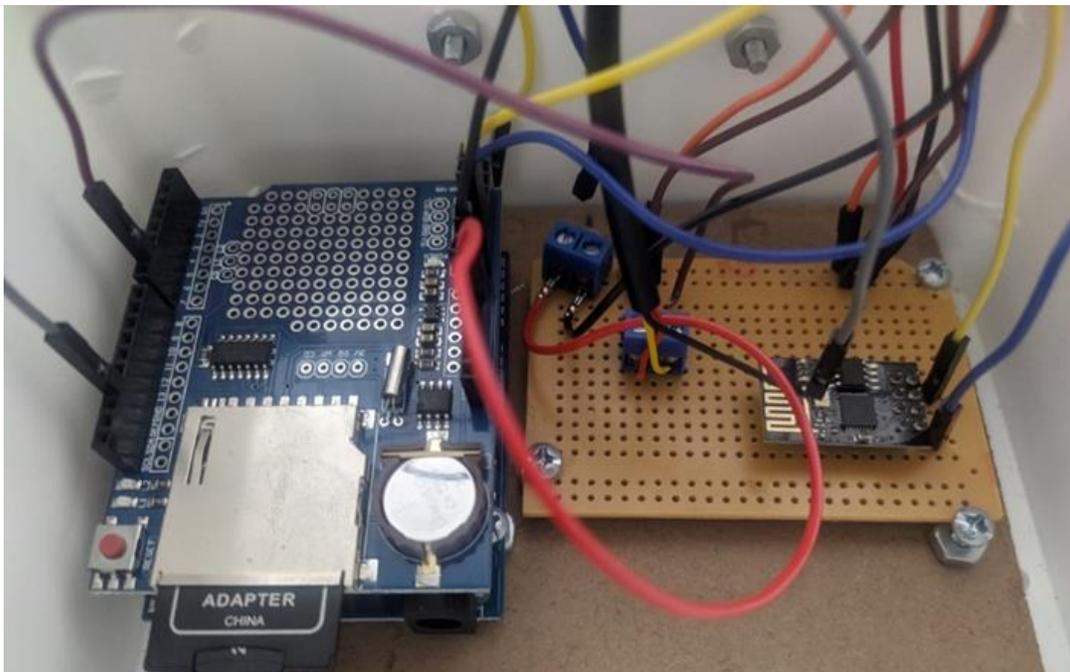
**Fuente: Captura del pantalla realizada por el autor**

## Resultados

### 3.1 Conexiones del circuito

Durante el ensamble se utilizó una unión en madera prensada entre los circuitos, la tarjeta Arduino y el datashield como aislante entre la tornillería y el resto de la estructura física, adicionalmente se agregó borneras para la realización de fácil desarme de las conexiones, debido a que la mayoría de los módulos son integrados el sistema en si no requiere de una elaboración compleja en el PCB:

**Figura 15 Conexiones de Arduino**

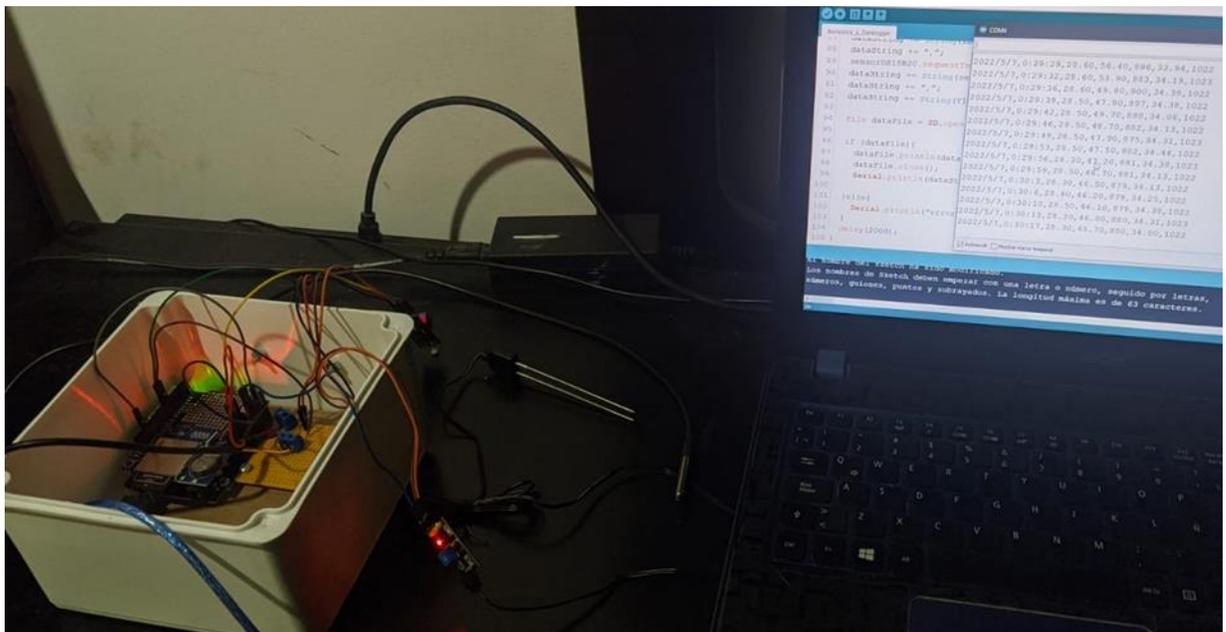


**Fuente:** Fotografía por el autor

### 3.2 Pruebas Funcionales

Durante el proceso de recolección de datos como medida previa se realizó un proceso de recolección y monitorización de los sensores conectados al Arduino, se utilizó el monitor serial para realizar seguimientos a los datos captados, realizado variaciones controladas de temperatura y humedad utilizando diferentes utensilios a disposición como encendedores para verificar las perturbaciones o cambios en el sensor de temperatura como garante de un óptimo funcionamiento.

**Figura 16 Realización de Pruebas**

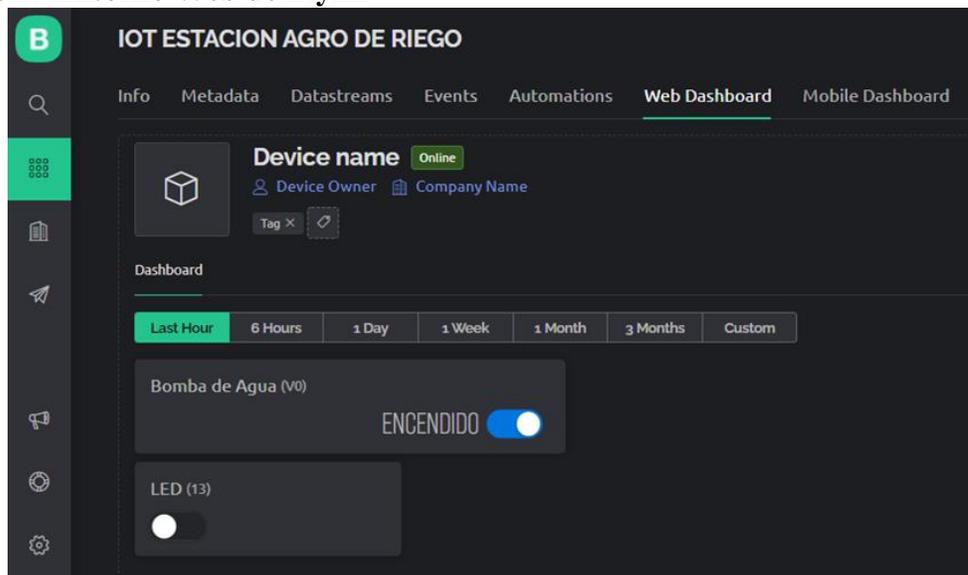


**Fuente:** Fotografía realizada por el autor

### 3.3 Pruebas de interfaz WEB

Se realizaron Pruebas de control simulando el encendido de una electrobomba o válvula con la utilización del ESP-01S y la plataforma virtual Blynk, para lo cual previamente se debió incluir dentro el código de la Arduino el nombre de la red donde se debe conectar el módulo y la contraseña de la red en cuestión, permitiendo así un acceso a internet a todo el circuito, a través del cual se podrán recibir órdenes y como método de autenticación; la página Blynk genera de forma automática un Token asignado al nombre de proyecto con el que hayamos definido nuestro dispositivo en la plataforma a su vez ofrece una app móvil denominada Blynk IOT donde se puede ver y controlar desde el celular nuestros dispositivos conectados a la red, a continuación observaremos el entorno web:

**Figura 17 Entorno Web de Blynk**



**Fuente: Captura de pantalla realizada por el autor**

### 3.4 Información del datalogger

En la siguiente tabla se muestra un porcentaje de los datos obtenidos por el Datalogger almacenados en la SD con el nombre Datalog.txt, la frecuencia de muestreo fue de 1 dato o muestra cada 2 segundos en poco más de 6 horas de prueba no supero 500Kb de almacenamiento interno de la SD, pero fueron alrededor de 8000 datos obtenidos teniendo en cuenta que por instante los datos se tomaban cada 3 a 5 segundos.

**Tabla 1 Datos Obtenidos por el Datalogger**

TEMP.AMB	HUM.AMB	LDR	TEMP.SUE	HUM.SUE	FECHA	HORA
28,2	47,9	871	32,88	1022	7/05/2022	0:25:57
28,2	47,8	869	32,81	1023	7/05/2022	0:26:01
28,4	47,7	870	32,69	1022	7/05/2022	0:26:04
28,2	47,8	870	32,94	1022	7/05/2022	0:26:07
28,2	47,8	870	33,25	1022	7/05/2022	0:26:11
28,2	47,8	870	33,5	170	7/05/2022	0:26:14
28,2	47,7	870	33,25	203	7/05/2022	0:26:18
28,2	47,7	870	33,19	1017	7/05/2022	0:26:21
28,2	47,7	871	33,44	1022	7/05/2022	0:26:24
28,2	47,7	871	33,75	1023	7/05/2022	0:26:28
28,3	47,6	870	33,94	1022	7/05/2022	0:26:31
28,3	47,5	870	33,69	1022	7/05/2022	0:26:35
28,3	47,4	870	33,5	1022	7/05/2022	0:26:38
28,3	47,4	870	33,5	1022	7/05/2022	0:26:41
28,3	47,4	870	33,69	1022	7/05/2022	0:26:45
28,3	47,4	872	33,81	1022	7/05/2022	0:26:48
28,3	47,3	882	33,63	1022	7/05/2022	0:26:52
28,3	47,2	873	33,5	1022	7/05/2022	0:26:55
28,3	47,1	874	33,56	1022	7/05/2022	0:26:58
28,3	47,1	886	33,75	1022	7/05/2022	0:27:02

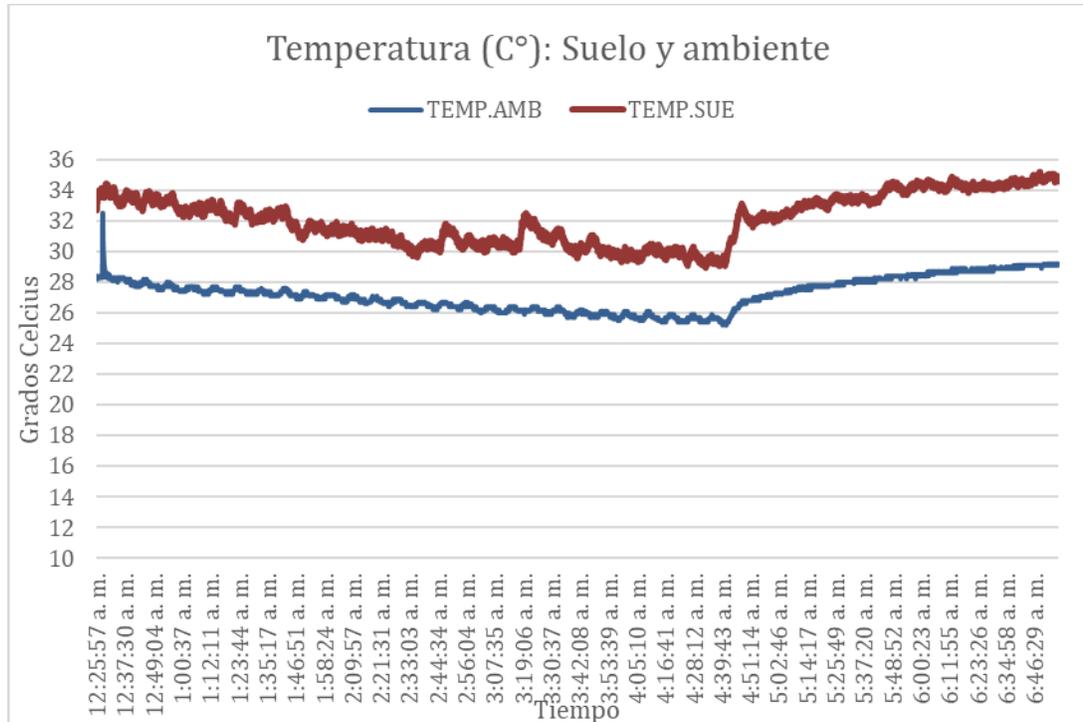
28,3	47,1	880	33,81	1022	7/05/2022	0:27:05
28,3	46,9	875	33,56	1022	7/05/2022	0:27:09
28,3	46,9	882	33,5	1022	7/05/2022	0:27:12
28,4	46,9	874	33,69	617	7/05/2022	0:27:16
28,3	46,9	874	33,88	1022	7/05/2022	0:27:19
28,4	46,9	876	33,94	252	7/05/2022	0:27:22
28,4	46,8	877	33,69	459	7/05/2022	0:27:26
28,4	46,8	879	33,63	1022	7/05/2022	0:27:29
28,3	46,7	873	33,75	1022	7/05/2022	0:27:33
28,3	46,6	873	33,94	1022	7/05/2022	0:27:36
28,4	46,6	874	34,06	1023	7/05/2022	0:27:39
28,4	46,5	878	33,75	1022	7/05/2022	0:27:43
28,4	46,4	874	33,75	1022	7/05/2022	0:27:46
28,4	46,4	873	33,88	1022	7/05/2022	0:27:50
28,3	46,4	872	34,13	1022	7/05/2022	0:27:53
28,3	46,3	873	34,06	1022	7/05/2022	0:27:57

**Fuente: Elaborada por el autor (Datos obtenidos a través del datalogger)**

### 3.4.1 Gráfico de la temperatura

A continuación, se observa las variaciones de la temperatura en grados Celsius por el sensor DHT11 (ambiente) y el sensor DS18B20 (suelo).

**Figura 18 Temperatura: Datos en ambiente y suelo**

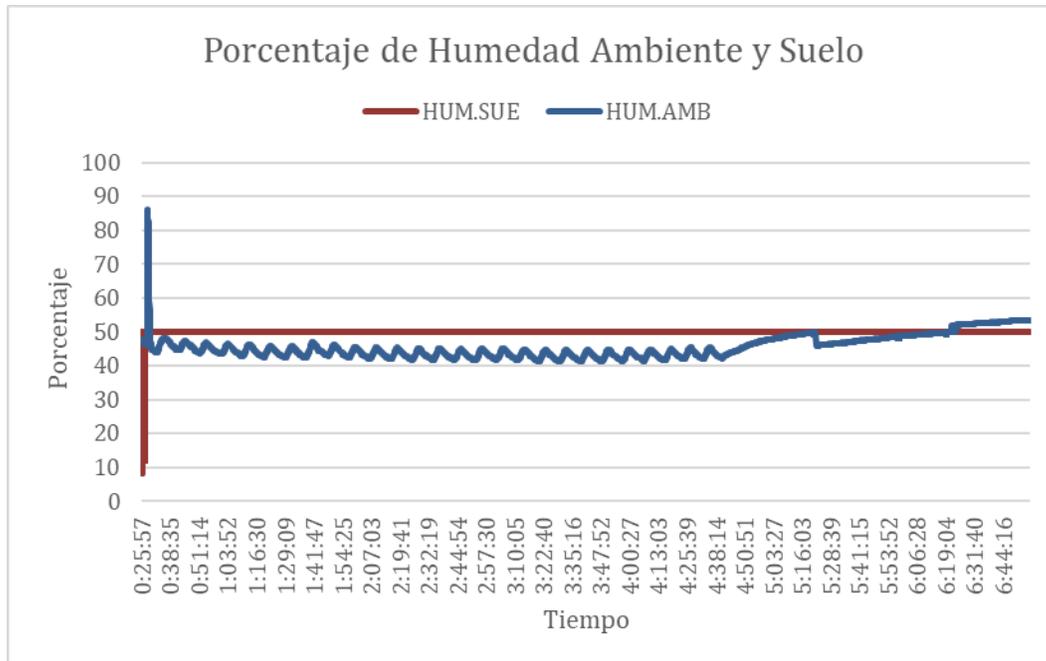


**Fuente: Elaborado por el Autor**

### 3.4.2 Gráfico de Humedad

A continuación, se observa las variaciones de la Humedad por el sensor DHT11 (ambiente) y el sensor YL100 (suelo).

**Figura 19 Humedad: Datos en ambiente y suelo**

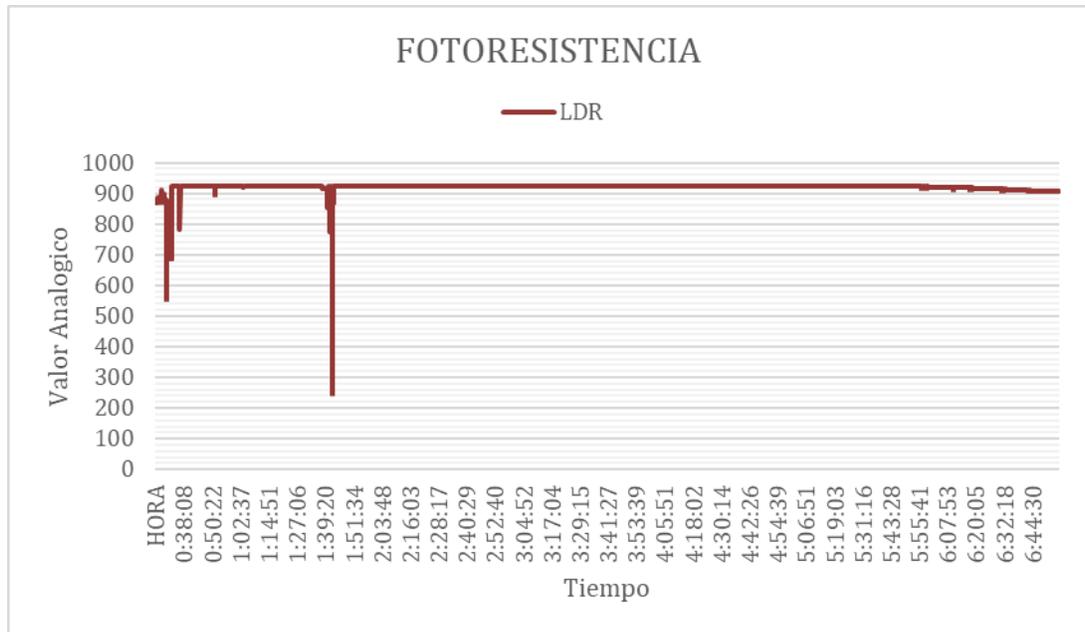


**Fuente: Elaborado por el autor**

### 3.4.3 Gráfico de radiación solar

A continuación, presentamos los datos obtenidos del sensor de radiación solar:

**Figura 20 Valores obtenidos de la Fotorresistencia**



**Fuente: Elaborado por el autor**

### 3.5 Análisis de resultados

A continuación, se presentarán las observaciones realizadas basados en los datos obtenidos de cada una de las gráficas anteriormente mostradas, teniendo en cuenta la diferenciación entre otras estaciones de monitoreo donde solo se tuvo en cuenta elementos ambientales o terrestre, mientras que en este proyecto se tuvieron en cuenta ambas.

#### 3.5.1 *Análisis de los datos obtenidos de la temperatura*

Como podemos observar en la *Figura 18*, tenemos sobre el eje X los datos agrupados de tiempo expresados en horas, minutos y segundos, mientras que en el eje Y contamos con los grados de temperatura expresados en Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Teniendo presente que los datos de color rojo corresponden a la sonda DS18B20 provenientes del suelo teniendo un máximo de  $35,5^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $28,4^{\circ}\text{C}$ , mientras que los datos de color azul sobre el gráfico corresponde a las muestras obtenidas por una de las funciones del sensor DHT11 teniendo un máximo de  $32,5^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $25,5^{\circ}\text{C}$ . Se observa como ambas mediciones se encuentran separadas entre sí por  $4^{\circ}\text{C}$  de diferencia, esto es debido que los cambios de temperatura ambiente son mayormente percibidos y aire por sí mismo actúa como disipador de la temperatura, por otro lado, el suelo retiene la temperatura por un más tiempo y disipándola paulatinamente.

#### 3.5.2 *Análisis de los datos obtenidos de la Humedad*

Como se puede observar en la *Figura 19*, tenemos sobre el eje de las X el tiempo expresado en horas, minutos y segundos, en el eje de las Y tenemos expresando la humedad relativa expresada en porcentajes (%). Teniendo esto presente podemos ver que el gráfico de color rojo corresponde a los datos obtenidos por el hidrómetro Y100 registrando un mínimo de 10% y un máximo de 50% en humedad relativa, mientras que

los datos obtenidos en color azul corresponden a la humedad ambiente gracias al DHT11 registrando un mínimo de 41% y un máximo de 86%. Se observa como ambas mediciones se mantienen separadas entre si constantemente entre un 3% hasta 9%, se observa también que la humedad en el suelo (Color Rojo) no presenta cambios significativos durante la recolección de datos, mientras que la humedad ambiente (Color Azul) Si presento variaciones constantemente en el porcentaje de humedad relativa debido a que los mas mínimos cambios presentados en el ambiente suelen ser mas notorios que los presentados en el suelo.

### **3.5.3 *Análisis de los datos de radiación solar***

Como se puede ver en la *Figura 20*, tenemos sobre el eje X los datos agrupados según el tiempo dando en horas, minutos y segundos, y sobre el eje de las Y tenemos valores analógicos desde 0 hasta 1023. En este caso veremos de color rojo un mínimo de 255 siendo este el 24.5% y un valor máximo de 910 siendo este equivalente al 88.7% de su valor máximo. Dado que este sensor actúa de manera inversamente proporcional a mayor numero arrojado en su dato analógico mayor es el grado de oscuridad presente.

### **3.5.4 *Balance general de los resultados***

Debido a que en este proyecto se tuvo en cuenta los datos ambientales y los datos obtenidos de la tierra o suelo con la aplicación de una estación agrometeorológica, podemos observar que la lectura de los datos pueden ser monitoreados con facilidad para su comprensión por agricultores de la región, los cuales no solo puedan depender sus conocimientos empíricos sino de datos exactos sobre la plantaciones de cítricos.

## Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- Como consecuencia de lo expuesto logramos identificar las variables agrometeorológicas más importantes de los cultivos de cítricos en plantaciones agrícolas, como lo son: La humedad ambiente y de suelo, la temperatura ambiente y de suelo, también la radiación solar.
- A partir del análisis precedente se pudo establecer que para las variables anteriormente mencionadas es necesario contar con sensores que soporten la corrosión debido los niveles de salinidad superiores al 60% en la región caribe, para ellos fue indispensable encapsulados metálicos para los sensores mas expuestos como los el Y100 y el DS18B20 que se deben colocar en el suelo de las plantaciones, los demás sensores como el DHT11 y el LDR, se encuentran protegidos al interior de la estructura plástica.
- De acuerdo con el objetivo plateado se logró diseñar un sistema de control remoto del riego utilizando como actuador un relé que puede ser polarizado tanto como para electroválvulas de 12v DC, 110v AC o superiores.
- Como se pudo observar se logro llevar un registro de los datos a través de un datalog, con información capturada por los sensores y etiquetada por la fecha y hora.
- Finalmente se logró implementar un control de acceso a través del ESP8266 y la plataforma Blynk como interacción de internet de las cosas bajo el protocolo de comunicación IEEE802.11.

### 4.2 Recomendaciones

- Realizar un sistema codirección de ip o crear un servidor web con otro microcontrolador adicional para no depender de plataformas virtuales preestablecidas
- Diseñar un modelo más robusto con nuevos microcontroladores venideros que cuente ya con el módulos wifi integrados de bajo coste para acercar la tecnología aplicadas a la agricultura colombiana.
- Implementar un modelo con intervención de señal LoRa que permite más de 15km de distancia para campos agrícolas industrializados o para pequeñas fincas de agricultores locales.

### Bibliografía

- Arango, C., Dorado, J., D., G., & Ruiz, J. F. (2010). *CLIMATOLOGÍA TRIMESTRAL DE COLOMBIA*. (IDEAM) Recuperado el 2022, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9#:~:text=La%20regi%C3%B3n%20Caribe%20presenta%20una,maiores%20a%2024%C2%B0C>
- ARDUINO. (2022). *ARDUINO CC*. Obtenido de <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- Berrocal, O. (09 de mayo de 2019). *ELTIEMPO*. Recuperado el 2022, de <https://www.eltiempo.com/colombia/barranquilla/altas-temperaturas-en-el-caribe-359040>
- DANE. (2019). *RESULTADOS ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA*. Obtenido de [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/presentacion\\_ena\\_2019.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/presentacion_ena_2019.pdf)
- DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, Y DE CONTROL. (s.f.). *UNED*. Obtenido de [http://www.ieec.uned.es/investigacion/dipseil/pac/archivos/informacion\\_de\\_referencia\\_ise5\\_3\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/dipseil/pac/archivos/informacion_de_referencia_ise5_3_1.pdf)

Electronics, M. (s.f.). *Mauser.com*. Obtenido de

<https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

FinAgro. (2021). *FinAgro*. Recuperado el 2022, de

<https://www.finagro.com.co/noticias/el-momento-del-agro#:~:text=Entre%202023%20pa%C3%ADses%20en%20donde,sembradas%204%2C8%20de%20ellas>

GÓMEZ, M. R. (2013). PERFIL AMBIENTAL DE LA REGION CARIBE. En *Economía & Región, Vol. 7, No. 2* (págs. 193-220). Cartagena.

I. Mat, M. R. (2018). Smart Agriculture Using Internet of Things. *2018 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, 54-59.

IDEAM. (2018). *IDEAM*. Obtenido de

[http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Ficha+metodologica+variables+meteorologicas.pdf/d5915289-f08c-45c4-ad62-62efe957a1a3#:~:text=Dichas%20variables%20son%3A%20temperatura%20y,y%20velocidad\)%20y%20brillo%20solar](http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Ficha+metodologica+variables+meteorologicas.pdf/d5915289-f08c-45c4-ad62-62efe957a1a3#:~:text=Dichas%20variables%20son%3A%20temperatura%20y,y%20velocidad)%20y%20brillo%20solar)

IDEAM. (2022). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima/fenomenos-el-nino-y-la-nina>

Izaguirre, M. R. (23 de Septiembre de 2020). *Reda Agrícola*. (Colombia al mundo)

Recuperado el 2022, de <https://www.redagricola.com/co/citricaldas-y-el-reto-de-tecnificar-la-produccion-para-ser-mas-competitivos/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20c%C3%ADtricos%20>

en,%2D%20junio%20y%20octubre%2Dnoviembre.&text=Los%20diferentes%20p  
isos%20t%C3%A9rminos%20que,d

Ji-chun Zhao, J.-f. Z.-x. (2010). The study and application of the IOT technology in agriculture. *IEEE*, 462-465.

lagranja, a. (6 de 8 de 2012). *issuu*. (Issuu Inc.) Recuperado el 20 de 10 de 2021, de [https://issuu.com/articulacionlagranja/docs/gu\\_a\\_de\\_aprendizaje\\_senalogia\\_nuevo\\_ooooooo\\_ok](https://issuu.com/articulacionlagranja/docs/gu_a_de_aprendizaje_senalogia_nuevo_ooooooo_ok)

Marylin Mamani, M. V. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 599-618.

Porto Solano, O. M. (2017). *Monitoreo de energía basado en Internet industrial de las cosas*. Comunicaciones en Informática y Ciencias de la Información.

R. Kondaveti, A. R. (2019). Smart Irrigation System Using Machine Learning and IOT. *International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)*, 1-11.

Republica, L. (17 de Noviembre de 2021). *La Republica* . Recuperado el 08 de 02 de 2022, de [https://www.larepublica.co/economia/el-pib-colombiano-esta-26-por-encima-del-nivel-que-se-registraba-antes-de-la-pandemia-3262371#:~:text=A%20precios%20constantes%2C%20el%20PIB,\(%24204%2C05%20billones\)](https://www.larepublica.co/economia/el-pib-colombiano-esta-26-por-encima-del-nivel-que-se-registraba-antes-de-la-pandemia-3262371#:~:text=A%20precios%20constantes%2C%20el%20PIB,(%24204%2C05%20billones))

Segnana, L. R. (2019). GUIA TECNICA DE CULTIVOS DE CITRICOS. *Proyecto de Adopción de Paquetes Tecnológicos para cultivos*, 1-80.

Zapata, K. P. (2019). *acofipapers*. Recuperado el 2022, de  
<https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/210>